

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.4

Исследование зависимости мощности и КПД источника постоянного тока от внешней нагрузки

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебниках: [1], гл. 12, § 99; [2], гл. 19, § 19.2. Запустите программу «Электричество и магнетизм». Выберите «Цепи постоянного тока». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Составьте конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ, с. 5 еще раз.)

Цель работы

- Знакомство с компьютерным моделированием цепей постоянного тока.
- Исследование зависимости мощности и КПД источника постоянного тока от сопротивления внешней цепи.

Краткая теория

Закон Ома для полной цепи

$$I = \frac{E}{R + r}, \quad (1)$$

I - сила тока в цепи; E - электродвижущая сила источника тока, включённого в цепь; R - сопротивление внешней цепи; r - внутреннее сопротивление источника тока.

Мощность, выделяемая во внешней цепи:

$$P_1 = I^2 R = \frac{E^2}{(R + r)^2} R. \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что при коротком замыкании цепи ($R \rightarrow 0$) и при $R \rightarrow \infty$ эта мощность равна нулю. При всех других конечных значениях R мощность $P_1 > 0$. Следовательно, функция P_1 имеет максимум. Значение R_0 , соответствующее максимальной мощности, можно получить, дифференцируя P_1 по R и приравнявая первую производную нулю

$$\frac{dP_1}{dR} = \frac{E^2[(R_0 + r)^2 - 2(R_0 + r)R]}{(R_0 + r)^4} = 0. \quad (3)$$

Из формулы (3), с учётом того, что R и r всегда положительны, а $E \neq 0$, после несложных алгебраических преобразований получим

$$R_0 = r. \quad (4)$$

Следовательно, *мощность, выделяемая во внешней цепи, достигает наибольшего значения при сопротивлении внешней цепи, равном внутреннему сопротивлению источника тока.*

При этом сила тока в цепи равна половине тока короткого замыкания:

$$I = \frac{E}{2r} = \frac{I_{\text{кз}}}{2}. \quad (5)$$

При этом мощность, выделяемая во внешней цепи, достигает своего максимального значения, равного

$$P_{1\text{max}} = \frac{E^2}{4r}. \quad (6)$$

Когда источник замкнут на внешнее сопротивление, то ток протекает и внутри источника и при этом на внутреннем сопротивлении источника выделяется некоторое количество тепла. Мощность, затрачиваемая на выделение этого тепла, равна

$$P_2 = I^2 r. \quad (7)$$

Следовательно, полная мощность, выделяемая во всей цепи, определится формулой

$$P_{\text{полн}} = P_1 + P_2 = I^2 R + I^2 r = I^2 (R+r) = IE. \quad (8)$$

Коэффициент полезного действия источника тока равен

$$\eta = \frac{P_1}{P_{\text{полн}}} = \frac{R}{R+r}. \quad (9)$$

Из формулы (8) следует, что

$$P_1 = P_{\text{полн}} - P_2 = EI - I^2 r, \quad (10)$$

т.е. P_1 изменяется с изменением силы тока в цепи по параболическому закону и принимает нулевые значения при $I = 0$ и при $I = \frac{E}{r}$. Первое значение соответствует разомкнутой цепи ($R \gg r$), второе – короткому замыканию ($R \ll r$). Зависимость КПД от силы тока в цепи с учётом формул (8) - (10) примет вид

$$\eta = 1 - \frac{r}{E} I. \quad (11)$$

Таким образом, КПД достигает наибольшего значения $\eta = 1$ в случае разомкнутой цепи ($I = 0$), а затем уменьшается по линейному закону, обращаясь в нуль при коротком замыкании.

Зависимость мощностей P_1 , $P_{\text{полн}} = EI$ и КПД источника тока от силы тока в цепи показаны на рис.1.

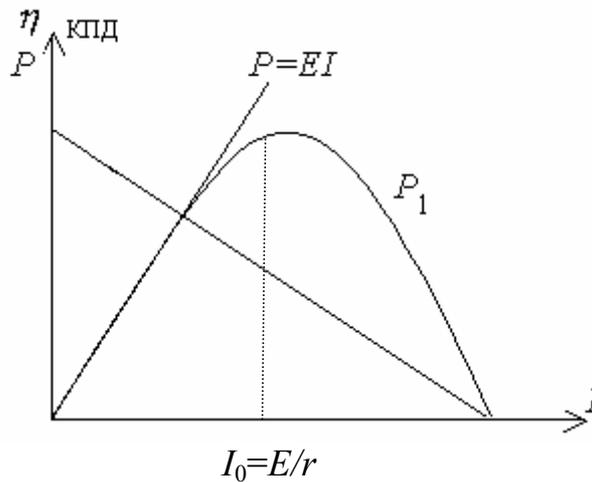
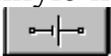


Рис.1

Из графиков видно, что получить одновременно максимальные значения полезной мощности и значения КПД невозможно. Когда мощность, выделяемая на внешнем участке цепи P_1 , достигает наибольшего значения, КПД в этот момент равен 50%.

Методика и порядок измерений

1. Соберите на экране цепь, показанную на рис.2. Для этого сначала щелкните левой кнопкой мыши над кнопкой  ЭДС в нижней части экрана. Переместите маркер мыши на рабочую часть экрана, где расположены точки. Щелкните левой кнопкой мыши в рабочей части экрана, где будет расположен источник ЭДС

2. Разместите далее последовательно с источником резистор, изображающий его внутреннее сопротивление (нажав предварительно кнопку  в нижней части экрана) и амперметр (кнопка  там же). Затем расположите аналогичным образом резисторы нагрузки и вольтметр , измеряющий напряжение на нагрузке.

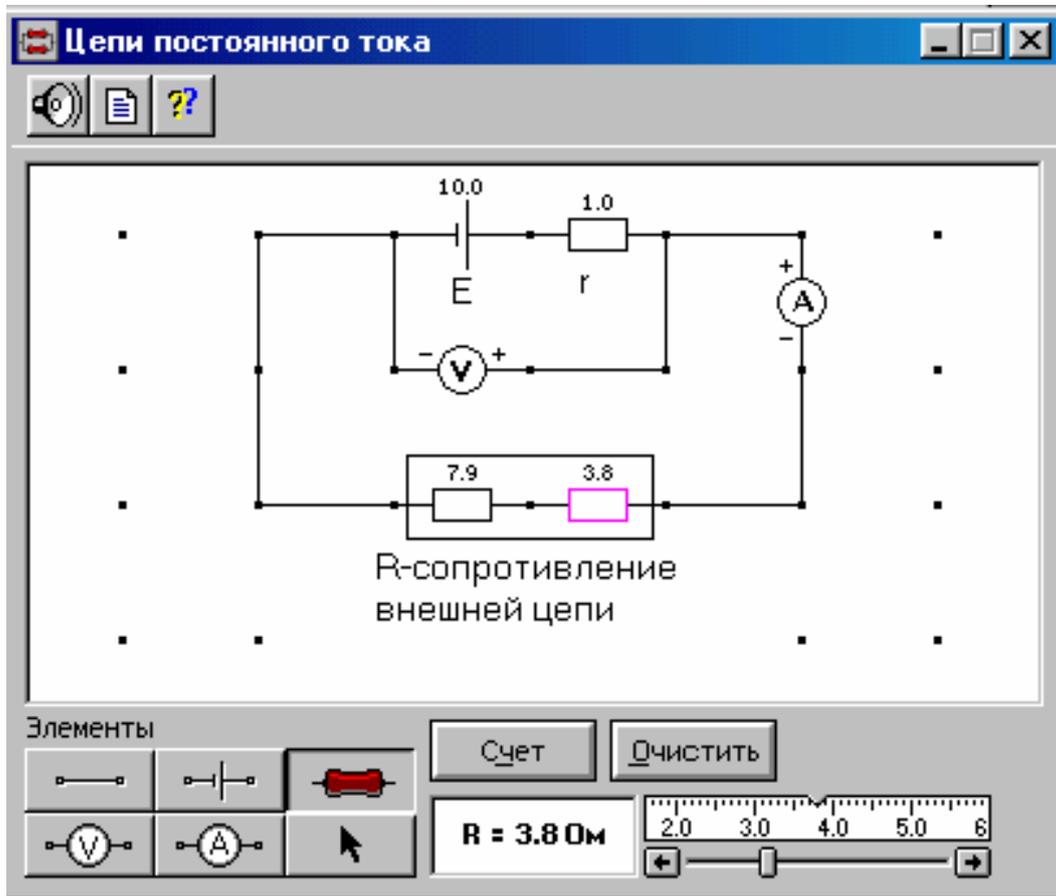


Рис. 2

3. Подключите соединительные провода. Для этого нажмите кнопку провода  внизу экрана, после чего переместите маркер мыши в рабочую зону схемы. Щелкните левой кнопкой мыши в местах рабочей зоны экрана, где должны находиться соединительные провода.

4. Установите значения параметров для каждого элемента. Для этого щелкните левой кнопкой мыши на кнопке со стрелкой . Затем щелкните на данном элементе. Подведите маркер мыши к движку появившегося регулятора, нажмите на левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, меняйте величину параметра и установите числовое значение, обозначенное в табл. 1 для вашей бригады.

5. Установите сопротивление внешней цепи 2 Ом, нажмите кнопку «Счёт» и запишите показания электроизмерительных приборов в соответствующие строки таблицы по форме 1.

Исходные параметры электрической цепи

Табл. 1

| Номер бригады | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $E, В$ | 10,0 | 9,5 | 9,0 | 8,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 | 9,5 |
| $r, Ом$ | 4,8 | 5,7 | 6,6 | 7,5 | 6,4 | 7,3 | 8,2 | 9,1 |

- Последовательно увеличивайте с помощью движка регулятора сопротивление внешней цепи на 0,5 Ом от 2 до 20 Ом и, нажимая кнопку «Счёт», записывайте показания электроизмерительных приборов в таблицу по форме 1.
- Вычислите по формулам (2), (7) - (9) P_1 , P_2 , $P_{\text{полн}}$ и η для каждой пары показаний вольтметра и амперметра и запишите рассчитанные значения в таблицу по форме 2.
- Постройте на одном листе миллиметровой бумаге графики полученных зависимостей $P_1 = f(R)$, $P_2 = f(R)$, $P_{\text{полн}} = f(R)$, $\eta = f(R)$ и $U = f(R)$.
- Рассчитайте погрешности измерений и сделайте выводы по результатам проведённых опытов.

Результаты измерений и расчётов

Форма 1

| | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| $R, Ом$ | 2,0 | 2,5 | 3,0 | ... | ... | ... | 20 |
| $U, В$ | | | | | | | |
| $I, А$ | | | | | | | |
| $P_1, Вт$ | | | | | | | |
| $P_2, Вт$ | | | | | | | |
| $P_{\text{полн}}, Вт$ | | | | | | | |
| η | | | | | | | |

Вопросы и задания для самоконтроля

- Запишите закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах.
- Что такое ток короткого замыкания?
- Что такое полная мощность?
- Как вычисляется КПД источника тока?
- Докажите, что наибольшая полезная мощность выделяется при равенстве внешнего и внутреннего сопротивлений цепи.
- Верно ли утверждение, что мощность, выделяемая во внутренней части цепи, постоянна для данного источника?
- При поочерёдном замыкании аккумулятора на сопротивления R_1 и R_2 в них за одно и то же время выделилось равное количество тепла. Определите внутреннее сопротивление аккумулятора?